植 物 分 类 与 资 源 学 报 2014, **36** (6): 755~762
Plant Diversity and Resources DOI: 10.7677/ynzwyj201414049

光皮树不同无性系主要农艺性状多样性分析*

陈韵竹[1], 蒋丽娟[1**], 陈景震[2], 刘 强[1], 张路红[1], 刘 健[1], 赵志伟[1]
(1 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004; 2 湖南省林科院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 依据光皮树 (*Cornus wilsoniana*) 丰产育种目标, 对 7 个光皮树优良无性系的 28 个农艺性状进行观测, 并进行方差、主成分、聚类及相关性分析。方差分析结果显示 28 个农艺性状的变异系数为 8.04%~94.30%, 其中叶形态 (叶形、叶色、叶缘) 的变异系数最高; 表型分化系数为 45.27%~96.40%, 即各性状的遗传较为稳定; 主成分分析结果显示花序、果实、含油率以及果穗果数因子是主要的遗传因子, 是光皮树无性系性状遗传的主要来源; 依据主成分因子得分将 7 个光皮树优良无性系聚为 4 个类群, 其中第Ⅱ类群与第Ⅲ类群杂交可以获得高产高含油率的目标资源。

关键词: 杂交亲本; 农艺性状; 形态多样性; 主成分分析; 聚类分析
中图分类号: Q 944, Q 94-332 **文献标识码**: A **文章编号**: 2095-0845(2014)06-755-08

Diversity Analysis of Main Agronomic Characters of Different *Cornus wilsoniana* Clones

CHEN Yun-Zhu[1], JIANG Li-Juan[1**], CHEN Jing-Zhen[2], LIU Qiang[1], ZHANG Lu-Hong[1], LIU Jian[1], Zhao Zhi-Wei[1]
(1 *Central South University of Forestry & Technology*, Changsha 410004, China;
2 *Hunan Academy of Forestry*, Changsha 410004, China)

Abstract: In order to breed high-yield and high-oil species, associated with 28 agronomic traits, 7 *Cornus wilsoniana* clones were observed and analyzed by variance, principal component, cluster and correlation analysis methods. Variance analysis showed that the variation coefficients of 28 agronomic characters ranged from 8.04% to 94.30%, and the biggest variation was leaf pattern, such as leaf shape, leaf color and leaf margin character. Phenotypic differentiation coefficients ranged from 45.27% to 96.40%, and it showed that the inheritances of various characters were relatively stable. Main of inheritances were presented by four principal components, which are inflorescence, fruit, oil content and fruit quantity per cluster. According to the factor scores resulted from principal component analysis, these 7 clones were clustered into 4 groups. The high-yield and high-oil target species can be hybridized by group Ⅱ and group Ⅲ.
Key words: Hybrid parent; Agronomic characters; Phenotypic diversity; Principal component analysis; Cluster analysis

光皮树 (*Cornus wilsoniana* Wanyer) 又名光皮梾木, 属山茱萸科 (Cornaceae) 梾木属阔叶落叶乔木树种。全果含油率高 (33%~36%), 是理想的多用途高产木本油料树种 (宋庆安等, 2008)。光皮树适应荒山荒地 (廖星和王汉中, 2005)、水土流失区等边际土地栽种, 既解决原料来源问题 (Russell 等, 2009; Tao 和 Anden, 2009), 又符合我国"不与口争粮, 不与粮争地"的可再生能源法。其研究报道日益增多, 现已开展了资源收集与评价、优良无性系选育 (李昌珠等,

* 基金项目: "十二五" 国家科技支撑计划项目《生物质液体燃料资源光皮树品种选育和丰产栽培技术示范》(2011BAD22B08)
** 通讯作者: Author for correspondence; E-mail: znljiang2542@163.com
收稿日期: 2014-03-22, 2014-06-25 接受发表
作者简介: 陈韵竹 (1992-) 女, 硕士研究生, 主要从事资源植物的开发与利用研究。E-mail: chenyunzhu_csuft@163.com

2010）及高产栽培（李力等，2008）等方面研究。对无性系的选育以野生资源（赵冰一和蒋丽娟，2010）的选择为主，而对杂交育种、亲本选配以及相关的细胞生物学（本玛丽等，2010）及分子生物学的研究较少。虽然各种同工酶标记和DNA分子标记已被广泛地应用于植物种质资源的鉴定和分类研究（李昌珠等，2009），但是形态性状的鉴定和描述，仍然是种质资源研究的最基本方法和途径。本研究对光皮树无性系主要生长性状在田间观测的基础上进行主成分和聚类分析，旨在为进一步的杂交育种中亲本的选配、分子鉴定、分类及种质资源利用提供基本的参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验所用光皮树无性系713、806、A03、B03、B05、B08、D05（材料形态特性见表1）由湖南省林业科学院选育，2005年嫁接苗造林。实验在湖南省林业科学院试验林场（113°00′E，28°11′N）进行，该林场属亚热带湿润气候，年平均气温16.8℃，平均日照时数1 496~1 850 h，平均降雨量1 400~1 900 mm，无霜期274 d，雨量主要集中在春、夏两季，2013年夏季较干旱，实验地土壤为黄棕壤（宋庆安，2009）。

1.2 实验方法

1.2.1 *形态学观测* 2013年3月至11月，对所选无性系植株生长特性进行观测，观测内容见表2，每个性状测10个样本，取其平均值。

表1 实验光皮树无性系形态特性

Table 1 Morphological characteristics among Volunteer *Cornus wilsoniana* clones

编号 Clones	树形 Tree form	树高 Height /cm	胸径 Breast diameter/cm	地径 Ground diameter/cm	枝下高 Under-branch height/cm	冠幅面积 Tree crown	
						南北 North-south/cm	东西 East-west/cm
713	自然开心形	320.2^{ab}	4.3^{ab}	9.8^{b}	34.3^{b}	450.5^{a}	335.5^{ab}
806	自然开心形	412.3^{a}	5.5^{a}	11.6^{a}	9.5^{c}	513.3^{a}	480.6^{a}
A03	主干疏层形	420.6^{a}	3.7^{b}	8.0^{b}	9.1^{c}	235.5^{b}	181.5^{b}
B03	自然开心形	445.8^{a}	3.6^{b}	13.5^{a}	20.5^{b}	440.1^{ab}	401.5^{a}
B05	自然开心形	284.9^{b}	3.2^{b}	12.5^{a}	25.3^{b}	306.6^{b}	260.3^{b}
B08	自然开心形	165.9^{c}	1.8^{c}	9.5^{b}	50.5^{a}	220.7^{b}	230.8^{b}
D05	主干疏层形	215.4^{bc}	1.8^{c}	6.5^{c}	9.5^{c}	235.8^{b}	185.7^{b}

注：不同字母表明结果有显著差异 Different letters indicate significant difference ($P<0.05$)

表2 生长特性观测内容

Table 2 Growth characteristics observed contents

营养生长特性 Vegetative growth characteristics	生殖生长特性 Reproductive growth characteristics	果实生长特性 Fruit growth characteristics
叶芽横径 Leaf bud horizontal diameter (LBHD) 叶芽纵径 Leaf bud vertical diameter (LBVD)	花序长（一级、二级、三级） Inflorescence length (Primary, Secondary, Tertiary) (PIL, SIL, TIL)	种子横径 Seed horizontal diameter (SHD) 种子纵径 Seed vertical diameter (SVD)
叶长 Leaf length (LL) 叶宽 Leaf width (LW)	花序横径（一级、二级、三级） Inflorescence horizontal diameter (Primary, Secondary, Tertiary) (PIHD, SIHD, TIHD)	种子千粒重 Thousand seed weight (TSW) 果实横径 Fruit horizontal diameter (FHD)
叶形 Leaf shape (LS) 叶色 Leaf color (LC)	花序纵径（一级、二级、三级） Inflorescence vertical diameter (Primary, Secondary, Tertiary) (PIVD, SIVD, TIVD)	果实纵径 Fruit vertical diameter (FVD) 果实千粒重 Thousand fruit weight (TFW)
叶缘性状 Leaf margin character (LMC)	果穗横径 Cluster horizontal diameter (CHD)	含油率 Oil content (OC)
一年生枝长 Annual branch length (ABL)	果穗纵径 Cluster vertical diameter (CVD)	含水率 Moisture content (MC)
	单一果穗果数 Fruit quantity per cluster (FQPC)	

1.2.2　果实含油量测定　果实自然风干后，用 Da7200 型近红外分析仪（已建模）进行含油率和含水率的测定。每个无性系取样 3 份，每份样品检测 3 次，采集各样品的近红外光谱使用 Simplicity 软件进行分析。

1.3　数据处理

1.3.1　质量性状编码　叶缘性状（为二元性状）：不卷曲 0、卷曲 1；叶片形状：0：条状→椭圆披针→椭圆，1：条状→条状披针→披针（2 个性状演化分支）。叶片颜色（为有序多态性状）：浅绿 0、黄绿 1、绿色 2。

1.3.2　数据分析　应用 IBM SPSS statistics 19.0 和 Excel 2007 对数据进行巢式方差分析（杨维泽，2011）、因子分析（谭荣波和梅晓仁，2007）、聚类分析（谢蕾蕾等，2013）和相关性分析（谭荣波和梅晓仁，2007）。

2　结果与分析

2.1　光皮树不同无性系性状多样性分析

2.1.1　不同无性系主要营养生长性状方差分析与表型分化　由表 3 可知，叶芽横/纵径、叶形、叶色、叶缘性状及一年生枝长在不同无性系间的变异系数较大，其中叶形、叶缘和叶色的变异系数明显高于其它指标，这因为叶形、叶缘和叶色为质量性状，受单基因控制，叶芽、叶面积及枝的年生长量等为数量性状，受微效多基因调控，遗传较为稳定。

营养性状的表型分化系数在 45.27%~83.53% 之间，平均变异系数为 60.68%，表型分化系数最大为叶芽横径（83.53%），表明无性系间的变异是叶芽横径变异的主要来源，而最小分化为叶色（45.27%），表明无性系内的变异是叶色变异的主要来源。这说明性状的表现除受遗传基因调控外，亦与栽培立地环境相关（王炜勇，2013）。

2.1.2　不同无性系花、序、果穗性状方差分析与表型分化　由表 4 可知，果穗纵径在不同无性系间变化较少，花序和果穗的其它指标变异系数较大（均大于 15%），其中单一果穗果数变异系数最大（33.46%），这也表明不同无性系之间的产量存在较大遗传差异。

各花序的表型分化较大，其中一级花序大小的分化最大（91.04%~96.40%），这说明无性系间的变异可以代表花序大小的总差异，即花序的大小受遗传的影响大，而受环境的影响小，遗传较为稳定，可作为选优选育的主要指标。单一果穗果数（88.32%）和果穗横径（86.82%）也在不同无性系间变化较大，这也表明单一果穗果数和果穗横径是遗传稳定性状。

2.1.3　不同无性系果实性状方差分析与表型分化　由表 5 可知，果实、种子的纵/横径变异系数较小，种子千粒重、果实千粒重、含水率的变异系数较大，说明光皮树不同无性系果实和种子的表型差异较小，而果实、种子的品质性状遗传差异较大。

果实性状表型分化系数较高（62.37%~93.71%），其中果实纵径（93.71%）、果实千粒重（89.21%）和果实横径（87.65%）分化系数最高，说明光皮树不同无性系果实品质遗传稳定，受环境的影响小，为优良性状的叠加提供了良好的遗传条件。

表 3　不同无性系营养生长特性分析结果

Table 3　Vegetative growth characteristics among different clones

观测内容 Observation content/mm	品种编号 Clone number							变异系数 CV/%	表型分化系数 Vst/%
	713	806	A03	B03	B05	B08	D05		
叶芽横径 LBHD	2.027[a]	1.610[ab]	1.310[b]	1.507[ab]	1.603[ab]	1.707[ab]	1.473[ab]	15.67	83.53
叶芽纵径 LBVD	2.173[c]	2.393[bc]	3.487[ab]	2.747[abc]	3.687[a]	3.137[abc]	2.963[abc]	20.84	45.43
叶长 LL	101.946[a]	96.273[a]	87.917[ab]	97.320[a]	100.787[a]	75.363[b]	75.567[b]	14.06	68.80
叶宽 LW	48.997[a]	52.193[a]	46.267[a]	47.313[a]	49.200[a]	36.263[a]	49.000[a]	12.19	57.16
叶形 LS	0[b]	1[a]	0[b]	1[a]	0[b]	1[a]	1[a]	94.30	73.43
叶色 LC	3[a]	1[c]	2[b]	3[a]	3[a]	1[c]	2[b]	45.27	45.27
叶缘性状 LMC	0[b]	1[a]	1[a]	0[b]	1[a]	0[b]	1[a]	94.30	61.32
一年生枝长 ABL	154.280[a]	102.593[a]	195.190[a]	179.103[a]	195.483[a]	135.350[a]	178.853[a]	23.40	50.47

注：不同字母表明结果有显著差异 Different letters indicate significant difference（$P < 0.05$）

表4　不同无性系生殖生长性状分析结果

Table 4　Reproductive growth characteristics analysis results among different clones

观测内容 Observation content/mm	品种编号 Clone number							变异系数 CV/%	表型分化系数 Vst/%
	713	806	A03	B03	B05	B08	D05		
一级花序长 PIL	56.140^{a}	43.043^{bc}	47.343^{bc}	24.630^{d}	48.753^{ab}	44.677^{bc}	38.897^{c}	22.69	93.23
一级花序横径 PIHD	76.740^{a}	61.973^{b}	58.057^{b}	32.200^{c}	64.277^{b}	58.343^{b}	39.433^{c}	27.20	96.40
一级花序纵径 PIVD	96.603^{a}	74.507^{bc}	81.193^{ab}	43.500^{d}	85.097^{ab}	68.833^{bc}	58.433^{cd}	24.33	91.04
二级花序长 SIL	43.923^{a}	28.157^{b}	31.327^{b}	28.030^{b}	30.410^{b}	28.830^{b}	27.797^{b}	18.45	89.99
二级花序横径 SIHD	34.703^{a}	23.177^{b}	18.353^{b}	16.837^{b}	19.460^{b}	18.857^{b}	18.800^{b}	28.68	74.37
二级花序纵径 SIVD	47.617^{a}	38.457^{ab}	35.177^{ab}	27.467^{b}	40.430^{ab}	34.180^{b}	32.597^{b}	17.54	71.66
三级花序长 TIL	21.987^{a}	19.307^{ab}	18.167^{ab}	15.763^{b}	19.657^{ab}	17.917^{ab}	9.207^{c}	23.47	89.64
三级花序横径 TIHD	16.170^{a}	12.923^{b}	12.523^{bc}	9.767^{bc}	11.653^{bc}	11.643^{bc}	9.207^{c}	19.14	84.68
三级花序纵径 TIVD	30.573^{a}	24.733^{a}	30.120^{a}	22.557^{a}	25.870^{a}	22.297^{a}	15.453^{a}	21.12	50.02
果穗横径 CHD	94.150^{a}	70.963^{bc}	84.147^{ab}	97.030^{a}	84.073^{ab}	66.560^{c}	65.113^{c}	16.14	86.82
果穗纵径 CVD	59.237^{a}	58.320^{a}	67.883^{a}	68.597^{a}	58.070^{a}	60.903^{a}	56.233^{a}	8.04	49.98
单一果穗果数 FQPC/个	45.667^{a}	25.667^{cd}	17.333^{d}	42.000^{ab}	22.000^{cd}	30.000^{c}	32.667^{bc}	33.46	88.32

注：不同字母表明结果有显著差异 Different letters indicate significant difference ($P < 0.05$)

表5　不同无性系果实性状分析结果

Table 5　Fruit characteristics analysis results among different clones

观测内容 Observation content/mm	品种编号 Clone number							变异系数 CV/%	表型分化系数 Vst/%
	713	806	A03	B03	B05	B08	D05		
种子横径 SHD	4.636^{ab}	4.674^{a}	4.194^{c}	4.400^{cb}	4.368^{c}	4.658^{a}	3.784^{d}	7.32	77.76
种子纵径 SVD	4.154^{ab}	4.256^{ab}	3.988^{b}	4.140^{ab}	4.030^{ab}	4.282^{a}	3.618^{c}	5.54	62.37
种子千粒重 TSW/g	55.551^{b}	63.214^{a}	41.113^{cd}	50.166^{bc}	45.772^{c}	60.171^{ab}	32.117^{d}	22.11	80.94
果实横径 FHD	6.313^{a}	5.713^{bc}	5.723^{bc}	5.467^{c}	6.020^{ab}	6.033^{ab}	5.713^{bc}	4.82	87.65
果实纵径 FVD	6.233^{a}	5.883^{ab}	5.627^{b}	5.927^{ab}	5.850^{ab}	6.130^{ab}	5.670^{ab}	3.76	93.71
果实千粒重 TFW/g	110.810^{b}	132.423^{ab}	91.667^{c}	110.442^{b}	93.848^{bc}	164.045^{a}	91.221^{c}	23.56	89.21
含油率 OC/%	30.46^{ab}	29.83^{b}	32.68^{a}	35.26^{a}	30.02^{ab}	24.26^{c}	29.67^{b}	11.06	84.26
含水率 MC/%	12.93^{a}	11.78^{ab}	9.46^{b}	8.96^{b}	9.60^{b}	12.37^{a}	11.32^{ab}	14.37	71.33

注：不同字母表明结果有显著差异 Different letters indicate significant difference ($P < 0.05$)

2.2　主成分分析

本实验经过巴特利特球形检验和KMO检验判断，各无性系间所观测的28项性状均存在真实的遗传差异，适合做因子分析，以主成分分析法作为因子提取的方法，采用方差极大正交旋转法对负荷矩阵进行旋转，以更好的解释因子。

由表6可知，各遗传性状间主成分、特征值、方差值率均存在较大差异。28个农艺性状可聚为4个主成分，其中前3个主成分累积贡献率达78.73%，故前3个因子基本可以反映原变量的信息。其中第1主成分的特征值最大(11.549)，贡献率最大(41.245%)，占主导地位；第2主成分的方差值率为21.992%；第3主成分的方差值率为15.489%；第4主成分的方差值率为10.837%。

特征向量的大小说明了该指标在对应主成分中所占信息量的大小。由表6可知，第1主成分中花序大小(包括一、二、三级花序长/横/纵径)及果实横径等特征向量为较大的正值，其中一级花序纵径的主成分荷载指数最高，为0.994。而特征向量中叶形为载荷绝对值最大的负值(−0.781)，这说明第1主成分反映的是与花

表 6　光皮树无性系主要性状主成分的特征向量及贡献率

Table 6　Eigenvector and contribution rate of character principal components of *Cornus wilsoniana* clones

	1	2	3	4		1	2	3	4
种子横径 SHD	0.182	0.957	0.142	0.119	一级花序长 PIL	0.965	−0.010	−0.207	−0.073
种子纵径 SVD	0.346	0.882	0.081	0.245	一级花序横径 PIHD	0.960	0.266	−0.080	0.009
种子千粒重 TSW	0.207	0.895	−0.084	0.282	一级花序纵径 PIVD	0.994	0.034	0.002	−0.091
果实横径 FHD	0.845	0.107	−0.207	0.279	二级花序长 SIL	0.762	−0.030	0.283	0.505
果实纵径 FVD	0.332	0.577	−0.031	0.679	二级花序横径 SIHD	0.746	0.039	0.056	0.631
果实千粒重 TFW	−0.096	0.838	−0.490	0.202	二级花序纵径 SIVD	0.965	0.003	−0.020	0.231
含油率 OC	−0.259	−0.301	0.857	0.012	三级花序长 TIL	0.703	0.610	0.349	0.005
含水率 MC	0.442	0.202	−0.650	0.556	三级花序横径 TIHD	0.863	0.309	0.148	0.263
叶芽横径 LBHD	−0.075	−0.184	0.020	−0.837	三级花序纵径 TIVD	0.705	0.350	0.552	−0.141
叶芽纵径 LBVD	0.570	0.273	−0.096	0.737	果穗横径 CHD	0.147	0.053	0.949	0.250
叶长 LL	0.412	0.122	0.730	0.189	果穗纵径 CVD	−0.396	0.311	0.688	−0.246
叶宽 LW	0.188	−0.495	0.336	0.117	果穗果数 FQPC	−0.125	0.007	0.195	0.960
叶形 LS	−0.781	0.205	−0.479	0.261	特征值 Total	11.549	6.158	4.337	3.034
叶色 LC	0.147	−0.420	0.762	0.268	方差 Variance/%	41.245	21.992	15.489	10.837
叶缘性状 LMC	0.119	−0.509	−0.188	−0.661	累积贡献率 Cumulative/%	41.245	63.237	78.725	89.563
一年生枝条长 ABL	−0.074	−0.606	0.510	−0.339					

序指标相关的信息，即花序因子。第 2 主成分遗传方差贡献率为 21.992%，其中种子横径主成分荷载指数最高，为 0.957，种子千粒重（0.895）、种子纵径（0.882）、果实千粒重（0.838）的主成分荷载指数较高，而一年生枝条长（−0.606）和叶宽（−0.495）为较大的负值。这说明第 2 主成分反映的是与种子指标相关的信息，故第 2 主成分称为种子因子。第 3 主成分遗传方差贡献率为 15.489%，其中果穗横径主成分荷载指数最高，为 0.949，全果含油率（0.857）、叶色（0.762）、叶长（0.730）、果穗纵径（0.788）的主成分荷载指数较高，而全果含水率（−0.650）为较大的负值。这说明第 3 主成分反映了与果实含油率和含水率相关的指标信息，故称第 3 主成分为含油率因子。第 4 主成分遗传方差贡献率为 10.837%，其中单一果穗果数荷载指数最高 0.960，其次分别为叶芽纵径（0.737）、果实纵径（0.679），其特征向量中叶芽横径（−0.837）和叶缘性状（−0.661）为荷载绝对值较高的负值。说明第 4 主成分主要反映了与果穗果实数量相关信息，亦称为果穗果数因子。

2.3　聚类分析

将 7 株光皮树无性系的主成分因子得分进行聚类分析，结果见图 1。以分层聚类平均距离 17.5 为阈值，参试的 7 株光皮树无性系可分为 4 类。第Ⅰ类群包括两个亚类，第 1 个亚类包括无性系 A03 和 B05，两者间的欧氏距离最短，为 0.878；第 2 个亚类包括无性系 B05 和 B08，两者间的欧氏距离为 0.995，可以说明 A03 和 B05 两者的亲缘关系最近，B05 和 B08 两者其次。由表 7 可知，此四者的第 1 因子均为负值，均有单一果穗果数少，果实纵径小，叶芽横径大但纵径小，叶缘卷曲，新枝生长较长的特点。第Ⅱ类群为无性系 713，其第 1 和第 4 主成分为较大正值。此无性系呈单一果穗果数多，果实较大，花序较大，不卷曲椭圆形叶的特点，是产量高的类群。第Ⅲ类群为无性系 B03，其第 1 主成分为绝对值最大的负值，第 3 主成分为最大正值。此无性系含油率最高，含水率最低，花序较小，果穗较大，绿色披针形长叶，是高油脂含量类群。第Ⅳ类群为无性系 D05，其第 2 和第 3 主成分为绝对值最大的负值。此无性系的含水率最高，含油率最低，种子较小，果穗较小，种子/果实千粒重较小，浅绿披针形宽叶，新枝年生长较长。故根据育种目标，第Ⅱ类群与第Ⅲ类群杂交可以获得高产高含油率的目标资源。

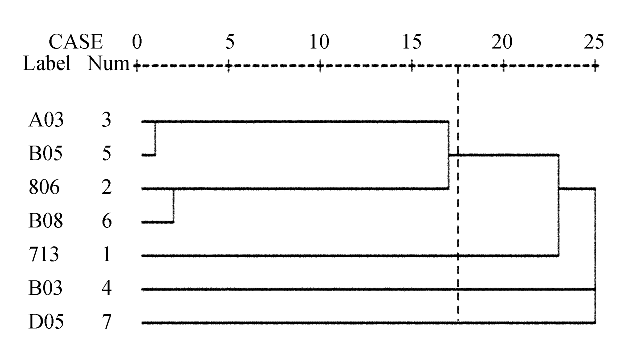


图1 7个光皮树无性系聚类图

Fig. 1 Dendrogram of cluster analysis based on growth characteristics of 7 *Cornus wilsoniana* clones

表7 不同无性系因子得分

Table 7 Factor score among different clones

无性系 Clones	因子得分 Factor score 1	2	3	4
713	1.489	−0.069	0.467	1.553
806	0.086	0.757	−0.567	−0.059
A03	0.290	−0.169	0.680	−1.523
B03	−1.604	0.340	1.412	0.634
B05	0.726	−0.419	0.390	−0.867
B08	−0.266	1.362	−1.275	−0.067
D05	−0.721	−1.802	−1.107	0.329

2.4 光皮树无性系生长特性相关性分析

2.4.1 营养性状与果穗果实性状的相关分析

从表8中可以看出，(1) 营养枝叶芽纵径与果实横径呈显著正相关，与果实纵径呈极显著正相关，这说明在一定程度上，叶芽纵径越大，果实越大。(2) 叶缘性状与果实纵径、单一果穗果数均呈显著负相关，这说明叶缘不卷曲品种，其果实相对较大，果数相对较多。(3) 一年生枝条长度与种子千粒重和果实千粒重均呈显著负相关，这说明光皮树新枝生长旺盛，在一定程度上会影响果实的品质。

2.4.2 花序性状与果穗果实性状的相关分析

由表9可知，(1) 一级花序的长、横、纵径及二级花序的长、纵径与果实横径均呈显著正相关，说明果实的大小受一级、二级花序大小的影响较明显，而受三级花序大小影响小。(2) 三级花序长与种子横径、纵径均呈显著正相关，说明种子的大小受三级花序长的影响较大。(3) 二级花序的大小与单一果穗果数呈正相关，但未达到显著水平 ($P>0.05$)。(4) 花序大的品种，含油量相对较低，含水量相对较高。

3 讨论

3.1 性状变异多样性

遗传多样性是实现育种改良的物质基础，形态特征变化常作为遗传变异的表征（管俊娇，2011），选择育种可在原始种质资源中发掘并叠加有利基因，以实现新的突破。变异系数表示性状值离散性特征（张艳丽等，2011），表型分化系数是遗传多样性与生境多样性的综合体现（周宁宁等，2009）。

本研究对7个光皮树无性系的28个生长性状进行方差分析，发现不同无性系的农艺性状表现出不同程度变异，变异系数为8.04%~94.30%，

表8 营养性状与果穗果实性状的相关分析

Table 8 Correlation coefficient between fruit, cluster characteristics and vegetative characteristics

	果穗横径 CHD	果穗纵径 CVD	果穗果数 FQPC	种子横径 SHD	种子纵径 SVD	种子千粒重 TSW	果实横径 FHD	果实纵径 FVD	果实千粒重 TFW	含油率 OC	含水率 MC
叶芽横径 LBHD	−0.161	0.171	−0.729	−0.300	−0.406	−0.494	−0.124	−0.544	−0.282	−0.084	−0.602
叶芽纵径 LBVD	0.207	−0.438	0.635	0.445	0.622	0.568	0.806*	0.912**	0.384	−0.367	0.744
叶长 LL	0.772*	0.120	0.207	0.381	0.447	0.312	0.168	0.267	−0.286	0.546	−0.216
叶宽 LW	0.270	−0.233	0.030	−0.298	−0.206	−0.202	−0.195	−0.332	−0.640	0.592	−0.182
叶形 LS	−0.517	−0.078	0.221	0.040	−0.034	0.191	−0.544	−0.002	0.515	−0.207	0.151
叶色 LC	0.821*	0.201	0.418	−0.231	−0.182	−0.364	0.130	0.078	−0.657	0.626	−0.423
叶缘性状 LMC	−0.406	−0.302	−0.769*	−0.520	−0.515	−0.474	−0.275	−0.818*	−0.523	0.089	−0.300
一年生枝条长 ABL	0.411	0.347	−0.145	−0.599	−0.652	−0.808*	−0.133	−0.479	−0.773*	0.479	−0.694

注：* 在0.05水平（双侧）上显著相关；** 在0.01水平（双侧）上显著相关

Note: * $P<0.05$ level (2-tailed); ** $P<0.01$ level (2-tailed)

表 9　花序性状与果穗果实性状的相关分析

Table 9　Correlation coefficient between fruit, cluster characteristics and reproductive characteristics

	果穗横径 CHD	果穗纵径 CVD	果穗果数 FQPC	种子横径 SHD	种子纵径 SVD	种子千粒重 TSW	果实横径 FHD	果实纵径 FVD	果实千粒重 TFW	含油率 OC	含水率 MC
一级花序长 PIL	−0.063	−0.451	−0.212	0.110	0.265	0.152	0.865*	0.285	−0.006	−0.444	0.533
一级花序横径 PIHD	0.078	−0.366	−0.130	0.422	0.568	0.456	0.846*	0.473	0.168	−0.388	0.534
一级花序纵径 PIVD	0.127	−0.341	−0.209	0.198	0.346	0.206	0.813*	0.281	−0.087	−0.261	0.402
二级花序长 SIL	0.521	−0.110	0.478	0.172	0.329	0.181	0.760*	0.581	−0.123	0.041	0.466
二级花序横径 SIHD	0.307	−0.361	0.507	0.252	0.444	0.376	0.731	0.638	0.046	−0.089	0.682
二级花序纵径 SIVD	0.171	−0.503	0.080	0.218	0.414	0.302	0.856*	0.464	−0.043	−0.246	0.556
三级花序长 TIL	0.463	0.099	−0.023	0.776*	0.832*	0.689	0.577	0.576	0.269	−0.061	0.193
三级花序横径 TIHD	0.335	−0.130	0.165	0.492	0.626	0.516	0.735	0.574	0.143	−0.121	0.538
三级花序纵径 TIVD	0.606	0.339	−0.111	0.504	0.531	0.352	0.443	0.281	−0.079	0.223	−0.013

注：* 在 0.05 水平（双侧）上显著相关；** 在 0.01 水平（双侧）上显著相关

Note: * $P < 0.05$ level (2-tailed); ** $P < 0.01$ level (2-tailed)

其中质量性状（如叶形、叶色和叶缘）的变异系数比数量性状（如花序长/横径/纵径等）变异系数大，主要原因是数量性状受微效多基因调控，而质量性状受单基因控制。万继锋等（2012）也认为橄榄种质叶片性状存在丰富的多样性，段志芬等（2013）对云南野生茶树资源调查结果也表明，质量性状（如花萼茸毛为 80.56%）的变异系数比数量性状（如萼片数为 13.97%）变异系数大。本研究还发现果实和种子形态是比较稳定的性状，说明果实与种子形态的变化受环境影响较小，是筛选某些育种材料的重要手段，这与黄勇等（2011）认为小果油茶种实形态变异程度较低的观点一致。

本研究对 28 个生长性状进行表型分化分析，发现各农艺性状的表型分化系数较高（45.27% ~96.40%），这说明各农艺性状遗传较为稳定，受环境的影响较小，可作为选优选育的主要指标，亦为良性状的叠加提供了良好的遗传条件。

3.2　变异的主要来源及亲缘关系

所测的 28 项性状划分为 4 个主成分，分别为花序因子、种子因子、含油率因子和果穗果数因子，前 3 个主成分累加代表了 78.73%的遗传信息，其中花序因子是主要的遗传来源，这表明光皮树种质资源的花序、种子、含油率、果穗果数等 4 个性状是其形态分化的主要指标。无性系间具有较高的表型分化系数，无性系内遗传较为稳定，故无性系间的变异是主要农艺性状变异的主要来源，也是实际形态鉴定分类中的主要依据。

在主成分分析的基础上进行聚类分析，可以有效地去除一些无关紧要或者影响很小的因子，使得结果更精确化。本实验聚类为 4 个类群，其中，第Ⅱ类群单一果穗果数多，果实较大，花序较大，不卷曲椭圆形叶；第Ⅲ类群全果含油率最高，含水率最低，果穗较大，花序较小，绿色披针形长叶。第Ⅱ类群与第Ⅲ类群杂交可以获得高产高含油率的目标资源，且两者的亲缘关系较远（欧氏距离 $D^2 = 3.083$），易于达到丰产选育目的。但表型性状受环境因素的影响，故聚类结果只能够粗略反映各类群的亲缘关系（刘冬云和刘燕，2012），因此随后的研究有必要通过分子标记手段或透视显微手段进一步研究，以弥补形态学鉴定的不足。

3.3　早期选择

早期选择可以对高产高含油率的丰产树种进行早期预判，也可使后代的变异朝着所需方向发展。本研究结果表明一级、二级花序大，叶缘不卷曲或叶芽纵径大的无性系，其果实相对较大；三级花序长的无性系，其种子较大；叶缘不卷曲和二级花序大的无性系，其单一果穗果数较多，即产量高；花序小的无性系，含油量相对较高，含水量相对较高；光皮树新枝生长旺盛，在一定程度上会降低果实的品质，宋娟等（2013）对多效唑对小桐子营养生长和生殖生长的影响研究中也发现营养生长旺盛会导致产量减少的现象。

据此进行早期选择，可为得到理想优良单株及定向杂交育种提供依据。

致谢 感谢湖南省林科院试验林场提供实验材料，感谢师兄师姐们的热情帮助。

〔参 考 文 献〕

谭荣波，梅晓仁，2007. SPSS 统计分析实用教程［M］. 北京：科学出版社，130—140，195—208

谢蕾蕾，宋志刚，何旭洪，2013. SPSS 统计分析实用教程［M］. 北京：人民邮电出版社，215—218

Ben ML（本玛丽），Wang XM（王晓明），Li YX（李永欣），2010. Germfree system establishment of tissue culture from the superior clone of *Cornus wilsoniana*［J］. *Hunan Forestry Science & Technology*（湖南林业科技），**37**（2）：5—7，11

Duan ZF（段志芬），Liu BY（刘本英），Wang YG（汪云刚）*et al.*，2013. Diversity analysis of agronomic traits of wild tea plants in Yunnan［J］. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*（西北农业学报），**22**（1）：125—131

Guan JJ（管俊娇），Yu H（虞泓），He L（何露）*et al.*，2011. Study on phenotypic variation of seed populations in *Jatropha curcas* L［J］. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*（西南农业学报），**24**（3）：1086—1094

Huang Y（黄勇），Yao XH（姚小华），Wang KL（王开良）*et al.*，2011. Analysis on variation frequency of fruits and seed characteristics and diversity index in *Camellia meiocarpa* Hu.［J］. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*（江西农业大学学报），**33**（2）：0292—0299

Li CZ（李昌珠），Li PW（李培旺），Zhang LB（张良波）*et al.*，2009. Establishment of ISSR-PCR reaction system for *Swida wilsoniana*［J］. *Nonwood Forest Research*（经济林研究），**27**（2）：6—9

Li CZ（李昌珠），Zhang LB（张良波），Li PW（李培旺），2010. Selection breeding of oil tree clones of *Swida wilsoniana*［J］. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*（中南林业科技大学学报），**30**（7）：1—8

Li L（李力），Li CZ（李昌珠），Li PW（李培旺）*et al.*，2008. Precocity and high-yield experiment of 15 *Swida wilsoniana* clones［J］. *Hunan Forestry Science & Technology*（湖南林业科技），**35**（6）：34—37

Liao X（廖星），Wang HZ（王汉中），2005. Wood oil plant is an important mounta in resources in south China［J］. *Review of China Agricultural Science and Technology*（中国农业科技导报），**7**（4）：17—20

Liu DY（刘冬云），Liu Y（刘燕），2012. Floral diversity of the different populations of *Lilium pumilum* DC.［J］. *Journal of Plant Genetic Resources*（植物遗传资源学报），**13**（6）：997—1004

Russell W，2009. Development and status of dedicated energy crops in the united states［J］. *In Vitro Cellular & Developmental Biology*-Plant，**45**：282—290

Song QA（宋庆安），Li CZ（李昌珠），Tong FP（童方平）*et al.*，2008. Response of photosynthetic physiological characteristics of superior clones of *Cornus silsoniana* Wanager to light intensity［J］. *Hunan Forestry Science & Technology*（湖南林业科技），**35**（6）：3—6

Song QA（宋庆安），Li ZH（李志辉），Li CZ（李昌珠），2009. Study on diurnal variation of photosynthetic physiological characteristics of *Comus wilsoniana* clones during the flowering stage［J］. *Chinese Agricultural Science Bulletin*（中国农学通报），**25**（10）：143—147

Song YJ（宋娟），Chen MS（陈茂盛），Li JL（李家龙）*et al.*，2013. Effects of soil-applied paclobutrazol on the vegetative and reproductive growth of biofuel plant *Jatropha curcas*［J］. *Plant Diversity and Resources*（植物分类与资源学报），**35**（2）：173—179

Tao L，Aden A，2009. The economics of current and future biofuels［J］. *In Vitro Cellular & Developmental Biology*-Plant，**45**：199—217

Wan JF（万继锋），Wu RJ（吴如健），Wei XX（韦晓霞）*et al.*，2012. Diversity analysis of the leaf phenotypic charactersof chinese olive germplasm resources［J］. *Chinese Journal of Tropical Crops*（热带作物学报），**33**（6）：975—980

Wang WY（王炜勇），Yu SH（俞少华），Li LF（李鲁峰）*et al.*，2013. Phenotypic diversity analysis of *Cucumis melo* var. *makuwa* landraces of Zhejiang Province［J］. *Journal of Plant Genetic Resources*（植物遗传资源学报），**14**（3）：89—95

Yang VZ（杨维泽），Jin H（金航），Yang MQ（杨美权）*et al.*，2011. Phenotypic diversity and environment relations in *Gentiana rigescens* of Yunnan［J］. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*（西北植物学报），**31**（7）：1326—1334

Zhang YL（张艳丽），Li ZH（李正红），MaYH（马摇宏）*et al.*，2011. A study on characters variation of different flower color groups of *Paeonia delavayi*（Paeoniaceae）［J］. *Plant Diversity and Resources*（植物分类与资源学报），**33**（2）：183—190

Zhao BY（赵冰一），Jiang LJ（蒋丽娟），2010. Comparison of morphological structure among different clones of bio-energy oil plant *Cornus wisoniana*［J］. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*（中南林业科技大学学报），**30**（9）：120—125

Zhou NN（周宁宁），Tang KX（唐开学），Qiu XQ（邱显钦）*et al.*，2009. Phenotypic diversity of natural populations in *Rosa omeiensis* Rolfe in Yunnan province［J］. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*（西南农业学报），**22**（6）：1732—1736